



TITLE:

Development of Monte Carlo Based X-Ray
Clumpy Torus Model and Its Applications to
Nearby Obscured Active Galactic Nuclei(
Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Tanimoto, Atsushi

CITATION:

Tanimoto, Atsushi. Development of Monte Carlo Based X-Ray Clumpy Torus Model and Its Applications to Nearby Obscured Active Galactic Nuclei. 京都大学, 2020, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2020-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22252>

RIGHT:

許諾条件により本文は2020-10-01に公開; Title: XCLUMPY: X-Ray Spectral Model from Clumpy Torus and Its Application to the Circinus Galaxy, Publication: The Astrophysical Journal, Volume 877, Issue 2, Article 95. Doi: 10.3847/1538-4357/ab1b20

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	谷本 敦
論文題目	Development of Monte Carlo Based X-Ray Clumpy Torus Model and Its Applications to Nearby Obscured Active Galactic Nuclei (モンテカルロ輻射輸送計算によるクランピートーラスからのX線スペクトルモデル開発及び近傍における隠された活動銀河核への適用)		
(論文内容の要旨)			
<p>銀河中心には、太陽質量の10^{5-10}倍の質量を持つ超巨大ブラックホール(SMBH: Super massive Black Hole)が普遍的に存在する。SMBHの成長の歴史を解明することは、天文学における最重要課題の1つである。それを理解する上で重要な現象が、活動銀河核(AGN: Active Galactic Nucleus)である。AGNとは、SMBHへの質量降着により銀河中心が明るく輝き、SMBHが成長する現場である。AGN中心部では、ガス・ダストから成る「トーラス」とよばれる構造が、SMBHと降着円盤を取り囲んでいる。トーラスは、SMBHへの質量供給の役割を担うため、その構造の解明はSMBH成長の理解に必要不可欠である。しかしながら、トーラスの空間分解は困難であり、その構造は未解明である。谷本氏は、このトーラス構造を解明するため以下の2つの研究に取り組んだ。</p> <p>第3章では、モンテカルロ輻射輸送計算によりクランピートーラス(非一様密度トーラス)からのX線スペクトルモデルを作成した。近年、トーラスは、多くのガス・ダストの塊から成るクランピーな構造を持つことが示唆されている。実際に赤外線領域では、クランピートーラスからの赤外線スペクトルモデル(CLUMPY: Nenkova et al. 2008)が作成されている。しかし、現実的なクランピートーラスからのX線スペクトルモデルは、これまで作成されていなかった。赤外線観測結果との比較を可能にするため、トーラス構造として赤外線スペクトルモデル(CLUMPY)と同じ幾何構造を採用した。モンテカルロ輻射輸送計算コード MONACO (Odaka et al. 2016)を用いて、クランピートーラスからのX線スペクトルの計算を数値的に行った。この際、トーラスの水素柱密度・トーラスの開口角・観測者の傾斜角等をフリーパラメータとした。そして、X線スペクトル解析ソフトXSPEC (Arnaud et al. 1996)において、直接読み込み可能なテーブルモデル(XCLUMPY: Tanimoto et al. 2019)の作成に成功した。</p> <p>第4章では、10天体の隠されたAGNのX線スペクトルにXCLUMPYモデルを適用した。Ichikawa et al. (2015)において、CLUMPYモデルを用いて近傍AGN21天体の赤外線データが解析されていた。谷本氏は、この21天体のうち、X線天文衛星SuzakuとNuSTARの双方により観測された10天体の隠されたAGNの広帯域X線スペクトルを解析し、それらにXCLUMPYモデルを適用することで、全天体のX線スペクトルを精度良く再現することに成功した。さらに谷本氏は、X線から得られたトーラス構造と赤外線から得られたトーラス構造を比較した。その結果、赤外線から得られたトーラス構造が、X線から得られたトーラス構造よりも円盤と垂直方向に広がっていることを解明した。これは、ダスト分布がガス分布よりも円盤と垂直方向に広がっていることを示唆する。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、超巨大ブラックホール(SMBH: Supermassive Black Hole)の成長を理解する上で鍵となる、活動銀河核(AGN: Active Galactic Nucleus)におけるクランピートーラスからのX線スペクトルモデル作成(第3章)及び、その近傍における隠されたAGNへの適用(第4章)から構成される。

第3章で谷本氏は、モンテカルロ輻射輸送計算を用いて、クランピートーラスからの独自のX線スペクトルモデル作成に成功している。広帯域X線スペクトルは、AGNトーラスを調べるのに最適である。なぜなら、ダストだけを追跡する赤外線放射と異なり、X線は全物質(ガス・ダスト)の分布を反映するためである。AGNのX線スペクトルを再現するために、これまでは主に、密度が一様なトーラス(スムーストーラス)からのX線スペクトルモデルが用いられてきた。しかし、近年の多波長観測結果から、多くのガス・ダストの塊から成るトーラス(クランピートーラス)が示唆されている。それにも関わらず、クランピートーラスからのX線スペクトルモデルはこれまでほとんど作成されていなかった。谷本氏の開発したX線スペクトルモデル(XCLUMPY: Tanimoto et al. 2019)は、世界中で広く使用されているX線スペクトル解析ソフトウェア XSPEC (Arnaud et al. 1996)において直接読み込み可能な数値テーブルモデルとなっており、このような便宜性の高いモデルを作成した意義はひじょうに大きい。実際、論文発表後まもなく、世界の多くの研究者からこのモデルを使いたいという申し出を受けており、今後の研究の大いなる発展が見込まれる。

第4章で、谷本氏は近傍における10天体の隠されたAGNにXCLUMPYを適用した。XCLUMPYモデルは、CLUMPYモデルと同様の幾何構造を採用しており、X線から得られるトーラス構造と赤外線から得られるトーラス構造の比較を初めて可能にする。谷本氏は、CLUMPYモデルを用いてすでに赤外線スペクトルが詳細に調べられている10天体の隠されたAGNの広帯域X線データを解析し、全天体のX線スペクトル再現に成功した。さらに谷本氏は、X線から得られたトーラス構造と赤外線から得られたトーラス構造を比較し、赤外線から得られたトーラス構造の方が、X線から得られたトーラス構造よりも降着円盤と垂直方向に広がっていることを解明した。これまでのAGN統一モデルにおいて、ダストは円盤と同じ方向に分布すると考えられてきた。谷本氏の結果は、古典モデルでは説明出来ない、円盤と垂直方向に広がったダスト(ダストアウトフロー)の存在を示唆する。実際、そのようなアウトフローの存在が、最近の赤外線干渉計による超高角度分解能観測によって示唆されていたが、それらはごく少数天体に限られていた。谷本氏は、全く別の研究手段を用いて、それがAGNにおいて普遍的であることを示したことになる。これは、AGN統一モデルの拡張を要請する結果であり、本研究がAGN研究において果たした役割は大きい。

以上の結果は、いずれも世界最先端の研究結果であり、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和2年1月20日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

